

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

### Введение

В соответствии с крупными межнациональными и национальными программами США, Японии, ведущих стран Европы и некоторых других основным направлением развития энергетики является повышение эффективности твердотопливных технологий по основным направлениям:

- отработка и освоение парогазового цикла с внутрицикловой газификацией (ПГУ-IGCC) на твердом топливе,
- разработка перспективных технологий с топливными элементами (ТЭ) и газификацией твердого топлива.

Отработка и освоение парогазового цикла с внутрицикловой газификацией на твердом топливе

В статье принята классификация ГТУ по температуре подвода газа в газовую турбину ( $T_T$ , К) на три технологических поколения: 1-е -  $T_T < 1300$  К, 2-е -  $1300 < T_T < 1600$  К, 3-е -  $T_T > 1600$  К.

ПГУ с внутрицикловой газификацией твердого топлива создаются по схемам:

- с топливной ГТУ 1-го и 2-го поколений,
- с бестопливной ГТУ 1-го поколения.

Основным преимуществом ПГУ с внутрицикловой газификацией является наибольшая термодинамическая эффективность цикла в сравнении с ПСЦ, ПГУ-КСД, ПГУ-КСД-К, ПГУ-ВТП (среднеинтегральная температура подвода теплоты выше).

ПГУ с топливной турбиной создаются на базе высоконапорных газогенераторов, интегрированных в энергетическую схему по технологии IGCC для получения горючего газа, систем очистки, топливных турбин 1-го или 2-го поколения. Схема обеспечивает КПД на уровне 43-44%. В перспективных японских проектах КПД цикла ПГУ с газовыми турбинами 3-го поколения должен составить 49%.

В США в рамках правительственной программы «Чистый уголь» (Clean Coal Technology) на основе разработанного IGCC-цикла существует целый ряд промышленно отработанных технологий газификации топлива, а также технологического оборудования, предназначенного для использования в составе газогенераторных ПГУ на твердом топливе. Наряду с США аналогичные программы по экологически чистому использованию топлива приняты в Германии, Англии, Японии, Нидерландах, России и других странах.

ПГУ с бестопливной ГТУ создается на базе низконапорных газогенераторов для получения горючего газа, сжигаемого для нагрева воздуха, упрощенных систем очистки, высокотемпературных воздухоподогревателей (воздуш-

ных котлов), бестопливных газовых турбин 1-го поколения, работающих по замкнутому, либо разомкнутому циклу на горячих инертных газах (1073-1273 К).

Электрический КПД цикла (при сбросе отработавшего в турбине воздуха в воздушный котел для сжигания генераторного газа), например, для проектируемой в Латвийской республике ТЭС с газификацией древесного топлива (по аналогии с работающей германской) составляет 15.8%, суммарный КПД станции – 42.2%.

#### ПГУ с топливными элементами

ПГУ с газификацией и сжиганием газа в топливных элементах (ТЭ) в силу дороговизны ТЭ не находят пока широкого применения в энергетике. КПД, обеспечиваемый в пяти известных на сегодняшний день технологиях топливных элементов, лежит в широких пределах – от 35% до 65% (таблицу). В настоящее время серийно выпускается твердо-полимерный топливный элемент (ТПМТЭ) компании Ballard P.S. (Канада) электрической мощностью до 200 кВт и КПД 50%. Для перспективных комбинированных циклов с топливными элементами, ГТУ и котлами-утилизаторами КПД электрический цикл должен составить 70%, что планируется, например, в рамках программы «Vision 21» (США) к 2010 году.

В таблице представлены технические характеристики отечественных и зарубежных топливных элементов различного типа и информация о стадиях их разработки в различных странах и оценочной стоимости.

Технические характеристики топливных элементов

Тип ТЭ	Щелочной	Твердо-полимерный		Фосфорно-кислотный	Расплав карбонатов	Твердо-оксидный
Данные о разработке характерных ТЭ	РКК «Энергия»	Ballard P.S. Канада	«Курчатовский институт»	Tokyo Electric Power Company		Siemens AG, Германия
КПД электр., % • реализованный • ожидаемый	50 70	50 70	50 70	35-45 60	45 60(70)	45 60(70)
Рабочая температура, °С	80-100	40-100	40-100	180-250	600-800	800-1000
Виды топлив. Применение риформинга др. топлив	Водород высокой чистоты	Водород и продукты риформинга	Водород и продукты риформинга	Природный газ, метанол и др.	Природный газ, синтез-газ и др.	Природный газ, синтез-газ и др.
Использование тепла	-	-	-	Горячая вода	Работа паровых турбин	Гибридные установки
Стадия разработки производства	Единичные экземпляры	Серийное пр-	Макеты до 10 кВт	Испытания от 50	Испытания уста-	Испытания уста-

	ры	во до 200 кВт		кВт до 11 МВт	новок до 2000 кВт	новок до 1000 кВт
Стоимость, \$/кВт						
• космиче- ских	30000	40000	-	-	-	-
• наземных	3000	1000				

Коммерциализация фирмой Ballard P.S. разработок ТПМТЭ позволила снизить удельную стоимость до уровня 1000 \$/кВт в настоящее время и прогнозировать ее дальнейшее уменьшение при крупносерийном производстве.

Топливные элементы ТПМТЭ характеризуются высокой эффективностью прямого преобразования химической энергии топлива (водорода) и окислителя (кислорода, воздуха) в электроэнергию. Они отличаются высокой удельной энергоемкостью (1000 Вт·ч/кг), что на порядок выше по сравнению с лучшими аккумуляторными батареями. Высокая плотность тока позволяет обеспечить их компактность. Низкая рабочая температура (до 100 °С) обеспечивает возможность быстрого запуска, достижения максимальной мощности и низкий уровень тепловых потерь. ТПМТЭ обладает способностью к работе с многократными перегрузкам по току и характеризуется увеличением КПД с уменьшением нагрузки.

Ориентируясь на достигнутые результаты зарубежного и отечественного оборудования, прогнозируется уменьшение удельной стоимости ЩТЭ при развитии крупносерийного производства. ЩТЭ мощностью от 10 до 40 кВт уже используются в экспериментальных стационарных и транспортных энергетических установках. Ими могут быть укомплектованы опытно-промышленные автономные энергетические комплексы.

### Заключение

Очевидно, что КПД традиционной твердоотопливной энергетики приближается к своему максимальному значению (65-70%). На взгляд автора, дальнейшее повышение эффективности топливоиспользования, реализация энергосберегающих мероприятий возможны лишь в комбинированных энергохимических циклах (например, с топливными элементами, с внутрицикловой термохимической активацией топлив) и с наиболее полной интеграцией энергогенерирующей установки в схему промышленного производства.